

SPECTROSCOPIE OPTIQUE : CAS ATOMIQUE

L'activité proposée se décompose en deux temps :

- Travail Expérimental (1h30) :
- Travail sur Modèle (2h) : Détermination des niveaux d'énergie de l'hydrogène atomique à partir de son spectre d'émission.

OBJECTIFS :

- Établir les premières hypothèses concernant les niveaux d'énergie de l'hydrogène atomique à partir de l'observation de son spectre d'émission (TP).
- Retrouver le schéma des niveaux d'énergie de l'hydrogène atomique. Comprendre comment ce modèle permet d'interpréter le spectre d'émission (TM).

DOCUMENTS :

Notice d'emploi de la lampe Balmer ; Reproduction des spectres d'émission de l'hydrogène atomique et de quelques gaz rares. Reproduction du spectre d'émission d'un tube d'éclairage ; Tables des longueurs d'onde des radiations visibles émises par l'hydrogène atomique, l'oxygène atomique, le sodium, le mercure, page de présentation du monochromateur.

TRAVAIL PREPARATOIRE

A faire **individuellement** et à rendre à votre enseignant en **début de séance**. Certaines réponses se trouvent dans les documents sur le serveur Internet.

- 1) Revoir le chapitre « Quantification de l'énergie » du programme de Terminale S, en particulier les définitions des termes : état fondamental, état excité, transition, énergie d'ionisation.
- 2) Revoir la relation de Planck-Einstein.
- 3) Qu'appelle-t-on une lumière blanche ?
- 4) Qu'appelle-t-on un spectre de raies ?
- 5) Que signifie une émission continue ? Une émission discrète ?
- 6) Qu'est-ce qu'un réseau ? Quelle est son utilité ?
- 7) Comment fonctionne un tube d'éclairage ?

TRAVAIL EXPERIMENTAL : OBSERVATION DES RAIES ÉMISES PAR LES ATOMES

I. PRÉSENTATION DU MATÉRIEL

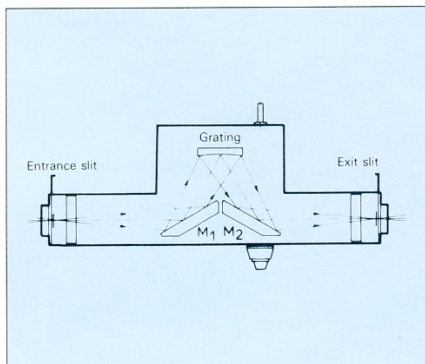
Vous disposez pour ce travail de différentes lampes dont la lampe dite "Balmer", d'un prisme (muni d'un système de visée) et d'un monochromateur.

1. Lampe Balmer

Pour plus d'explication, on consultera la notice de la lampe.

La lampe Balmer est un tube à décharge contenant de la vapeur d'eau. La décharge électrique (1500 Volts, 50 mA) provoque la dissociation des molécules d'eau en atomes d'hydrogène, en groupements hydroxyles et en atomes d'oxygène. Les fragments obtenus ont également absorbé de l'énergie, ils vont alors perdre cette énergie en émettant de la lumière.

2. Monochromateur



Un monochromateur est un instrument permettant, à partir d'un faisceau incident polychromatique, de sélectionner une radiation de longueur d'onde particulière. Le faisceau incident est diffracté par un réseau et un miroir permet de focaliser la radiation désirée sur la fente à travers laquelle l'observateur regarde la lumière émise. Un affichage de longueur d'onde solidaire de la position du réseau permet de connaître la longueur d'onde de la radiation observée.

Nous utilisons un monochromateur H20 fabriqué par Jobin & Yvon.

II. MANIPULATION

- 1) Observez la lumière ambiante avec le prisme. Pour avoir une lumière suffisante, pointez vers l'extérieur. *Notez les observations et les explications que vous proposez.*
- 2) Observez l'émission d'une lampe à mercure à l'aide du prisme. *Notez les observations et les explications que vous proposez.*
- 3) Observez l'émission du tube d'éclairage de la salle à l'aide du prisme. *Notez les observations et les explications que vous proposez.*
- 4) Observez l'émission de la lampe "Balmer" à l'œil nu. *Notez les observations et les explications que vous proposez.*
- 5) Observez l'émission de la lampe "Balmer" à l'aide du prisme. *Notez vos observations et les explications que vous proposez.*
- 6) Observez l'émission de la lampe "Balmer" à l'aide du monochromateur. *Reproduisez le spectre obtenu. Notez le nombre, les couleurs des raies, les énergies et longueurs d'onde des radiations émises.*

III. QUESTIONS

- 1) Quels sont les atomes émetteurs dans la lampe Balmer ?
- 2) Pourquoi qualifie-t-on la lampe « Balmer » de lampe à hydrogène ?
- 3) Lorsque l'on utilise le monochromateur, vous n'observez plus de fond continu. Pourquoi ?
- 4) Proposez des schémas possibles des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène en indiquant par des flèches, les pertes d'énergie subies par l'atome lorsqu'il émet la lumière que vous observez.

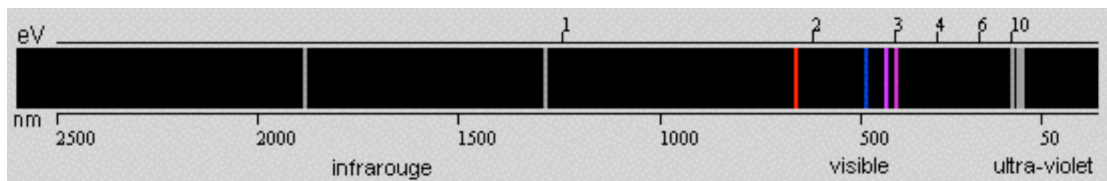
TRAVAIL SUR MODÈLE : DÉTERMINATION DES NIVEAUX D'ÉNERGIE DE L'HYDROGÈNE ATOMIQUE

I. LA QUESTION

L'activité qui vous est proposée ici va vous guider dans l'élaboration d'un modèle quantique simple de l'atome d'hydrogène, permettant, dans un premier temps, d'interpréter le spectre d'émission visible. Des hypothèses supplémentaires vous permettront d'affiner le modèle qui pourra alors être utilisé pour interpréter les phénomènes d'émission, d'absorption et d'ionisation. Un logiciel de modélisation vous aidera dans cette élaboration.

Lorsqu'on provoque une décharge électrique dans une ampoule enfermant un gaz, celui-ci peut émettre de la lumière. La décomposition de cette lumière montre que son spectre est composé de raies fines.

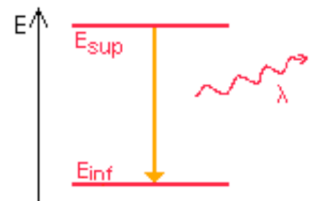
Depuis 1905, on sait qu'à toute radiation de longueur d'onde λ correspond des photons d'énergie $E_\lambda = hc/\lambda$ (h est la constante de Planck et c la célérité de la lumière dans le vide).



Partie du spectre reconstitué avec deux échelles en correspondance : longueur d'onde (en nm) et énergie en électron-volts (eV) (les raies infrarouges et ultraviolettes sont invisibles à l'œil ; elles sont ici tracées en trait gris)

L'idée de Bohr, vers 1913, a alors été la suivante : si la lumière est émise avec des longueurs d'onde précises, c'est que les changements d'énergie de l'atome ne sont pas quelconques mais au contraire bien définis, *comme s'il y avait des niveaux d'énergie dans l'atome...* L'énergie est dite alors *quantifiée*.

La perte d'énergie en passant d'un niveau supérieur à un niveau inférieur doit alors correspondre à l'énergie d'un rayonnement de longueur d'onde déterminée.



Il reste alors à trouver quels sont les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.

II. ACTIVITÉ 1

Faire un premier diagramme d'énergie (20 min)

L'activité repose sur l'utilisation d'un logiciel de modélisation qui vous permet de créer des niveaux et des transitions. Attention, ce logiciel ne contient pas le modèle de Bohr, c'est bien à vous de reconstituer les "bons" niveaux.

Cette première activité vise à vous familiariser avec le "germe de modèle" (modèle à énergie quantifiée) programmé dans le [logiciel de modélisation](#).

1- Des énergies de liaison discrètes et des transitions

Le logiciel présente dans sa partie supérieure une partie du spectre de l'hydrogène obtenu expérimentalement et dans sa partie centrale une zone avec une échelle d'énergie de l'atome (les valeurs sont négatives pour indiquer une énergie de liaison électron-noyau).

Créer deux niveaux et une transition entre eux, correspondant à une raie de couleur bleue. Observer alors l'apparition d'une raie dans le spectre "calculé" placé sous le spectre expérimental. Noter la valeur de l'énergie de la transition et des niveaux.

Quelle énergie est mesurée par l'échelle verticale du logiciel de simulation ? Par l'échelle horizontale ?

2- Une radiation correspond à une différence de niveaux d'énergie.

Créer deux autres niveaux et une transition entre eux, correspondant à la même raie de couleur bleue.

Modifier l'énergie d'un des deux niveaux et observer la modification de la longueur d'onde de la raie (de l'ultra-violet à l'infrarouge). Noter les valeurs des énergies de la transition et des niveaux lorsque la raie obtenue est de couleur rouge. Vérifier que la raie affichée par le logiciel correspond bien à la différence d'énergie des niveaux correspondant à la transition.

3- Préciser, en quelques phrases, le principe de fonctionnement du logiciel.

4- Cas de l'hydrogène : avec N niveaux d'énergie, on peut obtenir C^N_2 transitions.

Construire le spectre d'un atome imaginaire possédant 5 niveaux d'énergie.

Combien de raies observe-t-on dans le spectre calculé, en supposant que toutes les transitions sont permises ?

III. ACTIVITÉ 2

Vers un modèle de l'atome d'hydrogène (35 min)

Cette seconde activité vise à vous aider à construire les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.

1- Par définition, les raies d'une même série correspondent à des transitions vers *un même niveau inférieur*. Montrer que l'on peut trouver un tel ensemble de niveaux permettant de reproduire la partie "visible" – appelée *série visible* – du spectre d'émission de l'hydrogène.

2- Avec ce premier ensemble de niveaux, retrouver la première *série infrarouge* du spectre d'émission de l'hydrogène.

3- Il n'est pas possible de retrouver la *série ultra-violette* sans ajouter de niveaux. Compléter l'ensemble de niveaux pour l'obtenir. Reproduire le schéma des niveaux ou faire une copie d'écran. Attention, il n'y a qu'une série UV pour l'hydrogène.

4- La formule de Balmer-Rydberg du spectre visible de l'hydrogène

En 1885, Balmer avait étudié le spectre visible de l'hydrogène.

Vers 1900, Rydberg a trouvé une relation mathématique pour les raies de cette série.

Pour chaque valeur de p , calculer chaque terme de la relation et identifier l'énergie des raies calculées avec celles observées.

Relation de Balmer-Rydberg :

$$E_{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

avec $p = 3, 4, \dots$ et $R = 13,6 \text{ eV}$

Le fait d'avoir reproduit le spectre d'émission implique-t-il que les niveaux d'énergie soient fixés ? Justifier la réponse.

Le modèle théorique de Bohr (25 min)

1- L'énergie d'ionisation de l'atome d'hydrogène

Pour ioniser un atome d'hydrogène pris dans son état fondamental, il faut lui apporter une énergie minimale de 13,6 eV. On considère que l'énergie nulle de l'atome correspond au cas où l'électron sans vitesse n'est plus lié au noyau. Cette hypothèse fixe le niveau fondamental à -13,6 eV. Déduire graphiquement l'énergie des états excités. Que se passe-t-il si on envoie un photon d'énergie supérieure à 13,6 eV ?

2- Le modèle théorique de Bohr

Par des considérations théoriques, Bohr arrive à la conclusion que les énergies E_n des différents états possibles suivent une relation du type :

$$E_n = \frac{-R}{n^2} \quad R \text{ constante de Rydberg, } R = 13,6 \text{ eV}$$

Que représente n ? Quelle est la relation entre n et p ? Que représente la limite $n \rightarrow \infty$?

Compléter votre schéma en attribuant à chaque niveau, la valeur de n correspondante.

Vérifier que les énergies des états, calculées avec le modèle de Bohr permettent de reproduire le spectre d'émission de l'hydrogène.

IV. VALIDATION

Avez-vous tout compris ? (30 min)

La validation vise à vous aider dans la synthèse des activités précédentes.

Les réponses doivent être argumentées.

1. Faites un schéma résumant les étapes de la détermination des niveaux d'énergie de l'hydrogène effectuée dans l'activité 2.
2. . En utilisant le modèle de Bohr, donner l'énergie et la longueur d'onde de la raie la moins énergétique de la seconde série infrarouge. Peut-on la visualiser sur le simulateur ?
3. L'observation du spectre d'émission de l'hydrogène permet-elle d'établir les niveaux d'énergie de l'hydrogène ?
4. La connaissance des niveaux d'énergie de l'hydrogène permet-elle de prévoir l'énergie des raies d'émission ?

MODE D'EMPLOI DE L'APPLIQUETTE BOHR

LANCEMENT DE L'APPLIQUETTE

Se connecter sur linux (login et mot de passe)

Sélectionner le logiciel Opéra (navigateur)

Chapeau → Outils Internet → Autres → Opéra

Se connecter sur le serveur formation

<http://formation.etud.u-psud.fr>

Sélectionner le document *TD sur Modèle*

Chimie → Travaux pratiques → TP SISM → Spectroscopie d'émission (hydrogène) → TD sur modèle

MANIPULER LES NIVEAUX

Sélectionner un niveau = Click bouton gauche

Sélectionner plusieurs niveaux = MAJ + Click bouton gauche

Déplacement d'un niveau forte amplitude = Sélection partie gauche de l'échelle (apparition poignée jaune + niveau en pointillé) + déplacement souris

Déplacement d'un niveau moyenne amplitude (~ 0.5 eV) = Sélection + MAJ + flèche

Déplacement d'un niveau faible amplitude (~ 0.005 eV) = Sélection + flèche

Déplacement de plusieurs niveaux = Sélection multiple + déplacement



Suppression d'un niveau = Sélectionner le niveau partie gauche de l'échelle + click bouton ci-contre.

MANIPULER LES RAIES DU SPECTRE SIMULÉ

Créer une raie = sélectionner les deux niveaux entre lesquels se fera la transition donnant la raie ; les niveaux sélectionnés sont rouges. La transition est symbolisée par une flèche et la raie correspondante apparaît sur le spectre simulé.

Sélectionner une raie = Sélectionner la flèche correspondante par click bouton gauche

Désélectionner une raie = appuyer sur la barre Espace (parfois utiliser la combinaison barre Espace puis sélection de la flèche plusieurs fois)

Supprimer une raie = Sélectionner puis déplacer la flèche correspondante à droite de l'échelle.